(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

УДК: 622.765:622.346:622.7 10.70769/3030-3214.SRT.3.2.2025.2

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД РЕАГЕНТНЫЕ РЕЖИМЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ





Турдиев Шахбоз Шермамат угли
д.т.н., доц. Каршинский государственный технический университет,
Карши, Узбекистан
E-mail: shahboz_01011991@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-4116-9799

Эшонкулов Учкун Худайназар угли
д.ф.т.н., доц. Каршинский государственный технический университет,
Карши, Узбекистан
ORCID ID: 0009-0002-8415-7218

Хакбердиев Дилшод Кодир угли
докторант, Каршинский государственный технический университет,
Карши, Узбекистан
ORCID ID: 0009-0009-0097-7616

Аннотация. *Полиметаллические руды содержат ценные минералы, такие как галенит, сфалерит, сульфиды меди и пирит. Основным методом обогащения таких руд является флотация, однако в некоторых случаях применяется предварительное гравитационное обогащение. Флотационный процесс зависит от химического состава и физических свойств руды, а также от используемых реагентов, включая ксантогенаты, медный купорос и сернистый натрий. Наиболее распространёнными схемами флотации являются коллективная флотация, селективная флотация и гравитационные методы. В данной статье рассматриваются флотационные процессы обогащения полиметаллических руд, их эффективность и применение различных реагентов. Определение оптимальных условий флотации для различных типов руд играет ключевую роль. Результаты исследований показывают, что для повышения эффективности коллективной флотации необходимо детальное изучение физико-химических свойств руды. Кроме того, рассмотрено влияние шламов на процесс флотации и методы их минимизации.*

Ключевые слова: *полиметаллические руды, флотация, обогащение, сфалерит, галенит, сульфиды меди, реагенты, гравитационное обогащени.*

POLIMETALL RUDALARNI FLOTATSION BOYITISH TEXNOLOGIYALARINI TAKOMILLASHTIRISH, JARAYONLARNING REAGENT REJIMLARI VA SAMARADORLIGINI OSHIRISH

Turdiyev Shahboz Shermamat o'g'li
t.f.d., dots. Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

Eshonqulov Uchqun Xudaynazar o'g'li
t.f.f.d., dots. Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

Haqberdiyev Dilshod Qodir o'g'li
Qarshi davlat texnika universiteti doktoranti, Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya. *Polimetall rudalar tarkibida galenit, sfalerit, mis sulfidlari va pirit kabi qimmatbaho minerallar mavjud. Bunday rudalarni boyitishning asosiy usuli flotatsiya hisoblanadi, ammo ba'zi hol-*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

larda dastlabki gravitatsion boyitish qo'llaniladi. Flotatsiya jarayoni rudaning kimyoviy tarkibi va fizik xususiyatlariga, shuningdek, ishlatiladigan reagentlarga, jumladan, ksantogenatlar, mis kuporosi va natriy sulfidga bog'liq. Eng keng tarqalgan flotatsiya sxemalari kollektiv flotatsiya, selektiv flotatsiya va gravitatsion usullardir. Ushbu maqolada polimetall rudalarni boyitishning flotatsion jarayonlari, ularning samaradorligi va turli reagentlarning qo'llanilishi ko'rib chiqiladi. Turli xildagi ma'danlar uchun flotatsiyaning optimal sharoitlarini aniqlash muhim ahamiyatga ega. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, kollektiv flotatsiya samaradorligini oshirish uchun rudaning fizik-kimyoviy xususiyatlarini batafsil o'rganish zarur. Bundan tashqari, shlamlarning flotatsiya jarayoniga ta'siri va ularni minimallashtirish usullari ko'rib chiqilgan.

Kalit so'zlar: *polimetall rudalar, flotatsiya, boyitish, sfalerit, galenit, mis sulfidlari, reagentlar, gravitatsion boyitish.*

IMPROVEMENT OF FLOTATION ENRICHMENT TECHNOLOGIES FOR POLYMETALLIC ORES, REAGENT REGIMES AND PROCESS EFFICIENCY

Turdiev Shahboz Shermamat ugli
DSc, doc. Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Eshonkulov Uchkun Khudaynazar ugli
PhD, doc. Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Khakberdiyev Dilshod Kodir ugli
Doctoral student of Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *Polymetallic ores contain valuable minerals such as galena, sphalerite, copper sulfides, and pyrite. The main method of enriching such ores is flotation, however, in some cases, preliminary gravitational enrichment is used. The flotation process depends on the chemical composition and physical properties of the ore, as well as the reagents used, including xanthogenates, copper sulfate, and sodium sulfide. The most common flotation schemes are collective flotation, selective flotation, and gravitational methods. This article examines the flotation processes of polymetallic ore beneficiation, their effectiveness, and the application of various reagents. Determining the optimal flotation conditions for different types of ores plays a key role. The research results show that to increase the effectiveness of collective flotation, it is necessary to study the physical and chemical properties of the ore in detail. Furthermore, the influence of sludge on the flotation process and methods for minimizing it are examined.*

Keywords: *polymetallic ores, flotation, beneficiation, sphalerite, galena, copper sulfides, reagents, gravitational beneficiation.*

Введение. Полиметаллические руды представляют собой сырьё, содержащее несколько ценных минералов, имеющих промышленное значение. В их состав входят галенит (PbS), сфалерит (ZnS), сульфиды меди и пирит (FeS_2). Обогащение таких руд направлено на выделение и повышение концентрации полезных компонентов.

На сегодняшний день наиболее эффективным методом обогащения полиметаллических руд является флотация. В процессе флотации руда измельчается до необходимой крупности, после чего при помощи специальных реагентов осуществляется разделение полезных минералов. В ряде случаев применяется гравитационное обогащение, особенно если полезные минералы представлены крупными зернами.

Выбор оптимальных условий флотации и реагентного режима оказывает значительное влияние на конечное качество получаемого продукта. Например, для активирования сфалерита используются медный купорос и сернистый натрий, а основными собирателями в флотации являются ксантогенаты. Кроме того, важную роль играет уровень pH среды, в которой осуществляется процесс флотации.

Анализ литературы и методология. В данной статье подробно рассматриваются флотационные методы обогащения полиметаллических руд, влияние реагентов на минералы, способы повышения эффективности флотации и оптимальные схемы обогащения для различных

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

типов руд. Также анализируется влияние шламов на флотацию и методы их устранения.

Основные полезные минералы полиметаллических руд - галенит, сфалерит, сульфиды меди и пирит. В зонах окисления месторождений полиметаллических руд распространены церуссит $PbCO_3$, англезит $PbSO_4$, смитсонит $ZnCO_3$, каламин $Zn_4 [Si_2O_7] (OH)_2 \cdot H_2O$, окисленные медные минералы, оксиды и карбонаты железа.

Основной процесс обогащения полиметаллических руд в настоящее время - флотация. Однако, если вкрапленность полезных минералов благоприятна, осуществляется предварительное гравитационное обогащение этих руд, позволяющее в некоторых случаях выделить значительную часть (до 30-35%) минералов породы после сравнительно крупного дробления. Наиболее распространенный гравитационный процесс - обогащение в тяжелых суспензиях.

Схемы, применяемые в большинстве случаев при обогащении полиметаллических руд, показаны на рис.1. Кроме того, на некоторых фабриках используется также схема прямой селективной флотации руд, содержащих медные минералы.

Схема коллективной флотации с последующим разделением коллективного концентрата, как показано А.С.Коневым и Л.Б.Дебривной, особенно эффективна в тех случаях, когда при грубом измельчении всей руды можно выделить отвальные хвосты и коллективный концентрат с небольшим выходом требующий для селекции более тонкого измельчения. По данным М.А.Фишмана и Д.С.Соболева, эта схема применяется также при наличии в рудах природно-активированного сфалерита, подавление которого затруднено, или карбонатов железа и марганца, препятствующих подавлению сфалерита цинковым купоросом и цианидом. При коллективной флотации карбонаты остаются в хвостах и не мешают разделению концентрата. Коллективная флотация проводится при измельчении руды до крупности 45-55% класса - 0,074 мм. При неравномерной вкрапленности сульфидов коллективная флотация осуществляется в две стадии и отвальные хвосты выделяются при крупности измельчения 80-85% класса - 0,074 мм.

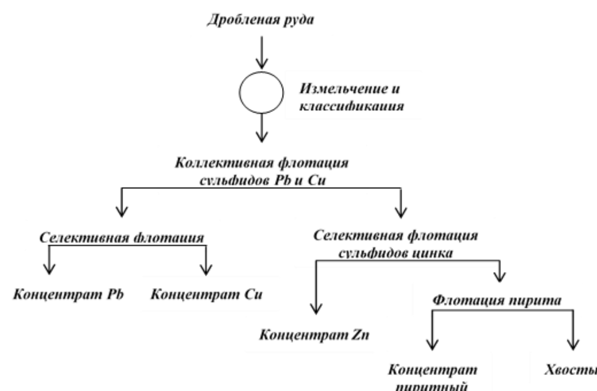


Рис.1. Схема флотации полиметаллических руд, содержащих четыре компонента.

Обычно сульфиды флотируют в содовой среде при pH 8-9,5 с использованием в качестве собирателя ксантогенатов (бутилового, изопропилового и др.). В ряде случаев флотацию ведут при pH 7-7,5. При необходимости для активации сфалерита применяют медный купорос, а при наличии в руде окисленных минералов свинца и меди - сернистый натрий. Из пенообразователей в коллективной флотации применяют Т-92, Э-1, сосновое масло, БКК.

Если сфалерит представлен двумя разновидностями, то сначала, совместно с другими сульфидами извлекают хорошо флотируемый сфалерит, а затем с добавками медного купороса получают цинковый продукт, который направляется в цинковый цикл либо присоединяется к цинковому концентрату.

При большом содержании пирита в руде коллективная флотация проводится в высокощелочной среде, при этом значительная часть пирита подавляется. Из хвостов коллективной флотации доизвлекают цинк, направляя полученный цинковый продукт в цинковый цикл, а затем флотируют пирит.

Наличие в руде первичных шламов отрицательно влияет на флотацию. Поэтому первичные шламы выделяют перед дроблением руды оттиркой или промывкой на грохотах и флотируют в отдельном цикле. Коллективный шламовый концентрат затем объединяют с коллективным концентратом, полученным из руды.

Для разделения коллективного концен-

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

трата необходимо десорбировать собиратель с поверхности сульфидов, извлеченных в коллективный концентрат. От полноты осуществления десорбции во многом зависит эффективность применения схемы коллективной флотации.

В Механобре А.С.Коневым и Л.Б.Дебривной предложен способ десорбции собирателя сернистым натрием с последующей отмывкой реагентов, находящихся в жидкой фазе пульпы, внедренный на ряде фабрик. Степень отмывки реагентов, рассчитываемая как отношение оставшегося количества реагентов в жидкой фазе пульпы к количеству реагентов, имевшихся в пульпе после десорбции, составляет 1:3-1:10.

Из других методов десорбции собирателя с поверхности сульфидов применяют сгущение и фильтрование коллективного концентрата; десорбщпд сернистым натрием и активированным углем без отмывки реагентов, а также пропарку коллективного концентрата в щелочной среде.

Коллективный концентрат, полученный при грубом измельчении руды, перед разделением обычно доизмельчается до крупности 85-90% класса -0,074 мм. Если коллективная флотация проводилась стадиально и отвальные хвосты выделялись при тонком измельчении, то при разделении концентрата сначала извлекают свободные зерна флотируемого минерала, затем хвосты разделительной флотации доизмельчают для раскрытия сростков и снова ведут разделение. В некоторых случаях концентрат доизмедьчается в рудно-галечных мельницах.

В зависимости от вещественного состава, вкрапленности и флотируемости основных компонентов концентрат разделяют по одной из схем, показанных на рис.1 Эти схемы аналогичны схемам селективной флотации полезных минералов непосредственно из руды. Так, сначала флотируют галенит, а при наличии в руде сульфидов меди — галенит совместно с сульфидами меди. В дальнейшем свинцово-медный концентрат разделяют на свинцовый и медный. Из хвостов свинцовой флотации последовательно флотируют сфалерит и пирит. Иногда проводится цинково-пиритная флотация с последующим получением цинкового и пиритного концентратов. Реагентные режимы, применяемые при разделении коллективного концентрата и флотации минералов из руды, также аналогичны и рассматриваются ниже.

Схемы включают флотацию в цикле измельчения или межцикловую флотацию свинцовых и медных минералов при крупности 35-55% класса - 0,074 мм, основную и контрольную флотацию при крупности измельчения 55-90 % класса - 0,074 мм, доизмельчение чернового концентрата и промпродуктов; флотацию промпродуктов в отдельном цикле. Практикуется отмывка первичных шламов перед дроблением, их сгущение и флотация в отдельном цикле с направлением концентрата в свинцово-медную флотацию руды.

Если свинцовая или свинцово-медная флотация проводится из коллективных концентратов, когда порода в основном отсутствует, а сростки сульфидов преимущественно раскрыты, то схема включает основную и контрольную флотации и перечистки концентрата.

При наличии в руде талька, загрязняющего сульфидные концентраты, его можно флотировать перед сульфидами в голове процесса одним вспенивателем при небольшом расходе подавителей сульфидов.

Свинцовая или свинцово-медная флотация обычно осуществляется в известковой или содовой среде при pH 7-10,5. Иногда pH создается гидроксидом натрия. Для подавления сфалерита и пирита применяют цианид, цинковый купорос, сульфит натрия, сочетания цианида с цинковым купоросом и сульфитом натрия или сернистым газом. Реагенты загружают в мельницу или подают с питанием флотации.

В качестве собирателя используют различные ксантогенаты (этиловый, изопропиловый, бутиловый и изобутиловый, амиловый и изоамиловый), аэрофлоты, сочетания низших и высших ксантогенатов, аэрофлотов и ксантогенатов. Из вспенивателей применяют Т-92, циклогексанол, БКК, ТЭВ, Дауфрос 250.

Основные окисленные минералы свинца - церуссит $PbCO_3$, англезит $PbSO_4$, пироморфит Pb_5 $[PO_4]_3C1$, крокоит $PbCrO_4$, миметезит Pb_5 $[AsO_4]_3C1$, вульфенит $PbMoO_4$, ванадинит $Pb_5[VO_4]_3Cl$, плюм- боярозит $PbFe_6$ $[SO_4]$ $_4(OH)_{12}$ Основные окисленные минералы цинка -

смитсонит $ZnCO_3$, каламин $Zn_4[Si2O_7](OH)_2 \bullet H_2O$, гидроцинкит $Zn_5[CO_3]_2(OH)_6$.

В смешанных и окисленных свинцово-цинковых рудах содержатся также галенит и сфалерит. Другие рудные минералы представлены сульфидами и оксидами меди, карбонатами, оксидами и гидроксидами железа и марганца, баритом. Из нерудных минералов в смешанных и окисленных свинцово-цинковых рудах присутствуют кварц, силикаты, кальцит, доломит.

Окисленные свинцовые минералы флотируются сульфгидрильными собирателями после предварительной сульфидизации сернистым или гидросернистым натрием.

В отличие от малахита для успешной флотации церуссита желательна глубокая сульфидизация, необходимая для создания на его поверхности сульфидной пленки определенной толщины, при этом отслаивания пленки не наблюдается. Такая пленка образуется при довольно больших расходах сернистого натрия (200-300 г/т и выше). По данным Г.И.Шоршера и С.И.Горловского, дальнейшее увеличение расхода сульфидизатора приводит (вследствие снижения скорости диффузии сульфидных ионов через пленку) к возрастанию концентрации сульфидных ионов в пульпе и подавлению церуссита.

Сульфидизация проводится при обычной температуре в контактных чанах или непосредственно во флотационных машинах, иногда требуется длительное время перемешивания с сульфидизатором. В некоторых случаях сульфидизатор загружается в мельницы.

Из окисленных свинцовых минералов лучшей флотируемостью обладает церуссит; англезит и вульфенит флотируются хуже; остальные минералы извлечь еще труднее, хотя при флотации руды, содержащей миметезит, НИ.Кудряковой и В.И.Копатиловым были получены достаточно высокие результаты. Плюмбоярозит - самый труднофлотируемый окисленный минерал свинца, проблема его селективной флотации в настоящее время не решена.

Результаты обогащения окисленных и смешанных свинцовых руд в большой степени зависят не только от состава окисленных свинцовых минералов, но и от вещественного состава руды. Легче всего обогащаются руды, в которых порода представлена силикатными минералами, хуже - руды с карбонатной породой (доломитизированными известняками), наибольшую трудность представляет обогащение руд, содержащих значительное количество гидроксидов железа, с которыми связана основная часть свинца. Поэтому, если возможно, применяется предварительное гравитационное обогащение в тяжелых суспензиях, отсадкой и винтовых сепараторах, позволяющее выделить часть породы в отвальные хвосты перед флотацией.

При обогащении смешанных и окисленных свинцовых руд совместно с сернистым натрием обычно используется жидкое стекло, диспергирующее шламы и подавляющее флотацию минералов породы. Предполагается, что сернистый натрий при загрузке в пульпу сначала выполняет роль дисцергатора, а затем – сульфидизатора. Поэтому жидкое стекло частично заменяет сернистый натрий.

Применяется флотация окисленных минералов свинца совместно с галенитом и после извлечения галенита. Последующие сульфидизация и окисленная флотация позволяют избежать подавляющего действия сернистого натрия на галенит.

При неравномерной вкрапленности минералов проводится совместная стадиальная флотация. Сульфидизатор загружается в каждую стадию флотации. В некоторых случаях удается выделить отвальные хвосты при измельчении 95-100% класса -0,074 мм.

В качестве собирателя окисленных минералов свинца используют различные ксантогенаты (этиловый, бутиловый амиловый), аэрофлоты и их сочетания. Из пенообразователей применяют Т-92, Дауфрос 250, ББК. Пирит подавляется цианидом и известью.

При наличии в рудах сфалерита применяют следующие схемы: 1**)** коллективная флотация галенита и окисленных свинцовых минералов при депрессии сфалерита цинковым купоросом, цианидом и сернистым натрием, а затем флотация сфалерита после активации медным купоросом; 2**)** прямая селективная флотация с последовательным выделением галенита, окисленных свинцовых минералов и

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

сфалерита; 3) прямая селективная флотация галенита, сфалерита, при необходимости - пирита, окисленных свинцовых минералов.

В некоторых рудах наряду с окисленными минералами свинца содержатся окислбнные медные минералы. В Механобре Г.И.Шоршером для обогащения окисленных руд одного из месторождений, основными рудными минералами которого являются церуссит и малахит, разработана гравитационно-флотационная схема. Порода представлена кварцем, глинистыми минералами, карбонатами.

Флотация церуссита проводится после предварительного выделения крупнозернистого церуссита отсадкой и отмывки глинистых минералов. Сульфидизация осуществляется сернистым натрием. Малахит депрессируется жидким стеклом, вводимым перед сульфидизацией.

В качестве собирателя церуссита используется этиловый ксантогенат. Хвосты свинцовой флотации обесшламливаются, и затем в три приема проводится медная флотация с подачей перед каждым приемом сернистого натрия и собирателя-изоамилового ксантогената. В качестве пенообразователя в обоих циклах применяется сосновое масло.

Окисленные цинковые минералы флотируют после извлечения сульфидов и окисленных свинцовых минералов.

Для флотации окисленных цинковых минералов разработаны два метода - Р. Дэвиса - А.И. Андреевой и М.Рея.

По первому методу окисленные цинковые минералы сульфидизируются при температуре 40-60°C в течение 20-25 мин, активируются медным купоросом и флотируются сульфгидрильными собирателями. На одной из фабрик флотация осуществлялась амиловым ксантогенатом при pH 7-7,5.

По второму методу окисленные минералы цинка флотируются высшими первичными алифатическими аминами, содержащими 12-18 атомов углерода, после предварительной сульфидизации при обычной температуре. При флотации вредное влияние оказывают шламы и глинистые минералы, поглощающие амин. Поэтому перед флотацией пульпу обесшламливают. В некоторых случаях перед сульфидизацией пульпа перемешивается с содой и жидким стеклом. Загрузка сульфидизатора и собирателя может быть дробной или единовременной. Флотация проводится при pH 10-11,5, расход амина составляет 80-170 г/т. В качестве пенообразователя используется сосновое масло.

Заключение. Обогащение полиметаллических руд осуществляется на основе флотационной технологии, эффективность которой зависит от ряда факторов. Результаты исследований показывают, что выбор оптимального реагентного режима и условий флотации позволяет значительно повысить извлечение полезных компонентов.

На эффективность флотации влияют состав руды, размер минеральных частиц и комбинация применяемых реагентов. Коллективная флотация часто оказывается наиболее результативной, так как сначала выделяется общий концентрат, а затем он разделяется с помощью селективной флотации. Однако флотация сфалерита и других сульфидных минералов требует применения таких активаторов, как медный купорос и сернистый натрий.

Кроме того, необходимо учитывать негативное влияние шламов на процесс флотации. Важно заранее удалять шламы или флотационно обрабатывать их в отдельных циклах. Исследования показывают, что для повышения эффективности флотации необходимо тщательно анализировать физико-химические свойства руды и подбирать индивидуальные реагентные режимы.

Таким образом, совершенствование технологий обогащения полиметаллических руд играет ключевую роль в металлургической промышленности. Развитие флотационных процессов и применение новых реагентов способствуют повышению эффективности обогащения и увеличению извлечения ценных металлов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Eshonqulov, U. (2023). TEMIR TARKIBLI XOM ASHYODAN VA MA'DANLARDAN TEMIRNI AJRATIB OLISHNING TEXNOLOGIK O 'LCHAMLARINI TADQIQ QILISH VA ANIQLASH. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, *1*(02).
2. Турдиев, Ш. Ш., & Эшонкулов, У. Х. (2023). ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СОСТАВОВ ЦИНКОВЫХ ОТХОДОВ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКЕ. *Наука и технология в современном мире*, *2*(18), 28-32.
3. Турдиев, Ш. Ш., & Эшонкулов, У. Х. (2023). ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАЛЬМАКЫР». *Наука и технология в современном мире*, *2*(18), 33-38.
4. Турдиев, Ш. Ш., & Эшонкулов, У. Х. (2023). СПОСОБЫ ОЧИСТКИ КОНЦЕНТРАТОВ ПЛАТИНОИДОВ И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ЧИСТЫХ МЕТАЛЛОВ. *Наука и технология в современном мире*, *2*(18), 23-27.
5. Турдиев, Ш. Ш., & Эшонкулов, У. Х. (2023). РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКА КОНЦЕНТРАТОВ ЧЕРНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ХВОСТОВ МОФ-1 И МОФ-2 С КОМПЛЕКСНЫМ ИЗВЛЕЧЕНИЕМ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ. *Наука и технология в современном мире*, *2*(18), 43-47.
6. Nasirov, U., Umirzokov, A., Nosirov, N., Fatkhiddinov, A., Eshonkulov, U., & Kushnazorov, I. (2024). Study of the Production and Efficiency of Variable and Loading Equipment in the Mining of Minerals. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 491, p. 02022). EDP Sciences.